

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

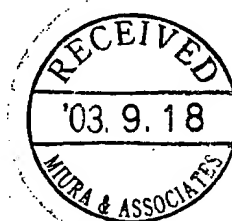


DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑪ DE 3424806 C2

⑦ Aktenzeichen: P 34 24 806.4-52  
⑧ Anmeldetag: 5. 7. 84  
⑨ Offenlegungstag: 1. 8. 85  
⑥ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 28. 4. 88

⑤ Int. Cl. 4:  
G01 B 11/14  
G 01 C 5/00  
G 01 C 9/00



DE 3424806 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①  
30.12.83 CH 6994-83

⑦③ Patentinhaber:  
Wild Heerbrugg AG, Heerbrugg, CH

⑦④ Vertreter:  
Prüfer, L., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 8000 München

⑦② Erfinder:

Gächter, Bernhard, Dr., Balgach, CH; Braunecker,  
Bernhard, Dr., Widnau, CH; Müller, Fritz, Dr.,  
Balgach, CH

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE-OS	16 73 887
CH	3 92 905
US	44 12 745
US	41 12 295
US	39 73 119

⑤④ Nivelliersystem und Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystemes

DE 3424806 C2

BEST AVAILABLE COPY

## Patentansprüche

1. Nivelliersystem, bestehend aus Nivelliergerät (1) mit Fernrohr und Nivellierlatte (2), wobei die Nivellierlatte zur absoluten Ortsmessung mit einem längs verlaufenden Code-Muster versehen ist, ferner das Nivelliergerät einen Code-Leser enthält, wobei der Code-Leser eine nach Detektorelementen ( $Q_i$ ) auflösende Detektorgruppe (10) aufweist und ein Rechner (15) zur Auswertung der Meßergebnisse vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Detektorgruppe (10) mindestens ein Teil des Code-Musters abgebildet wird, daß die Meßergebnisse des Detektors über eine Quantisierungs-Stufe (13, 14) dem Rechner (15) zugeleitet und mit Vergleichswerten aus einem Speicher (18) durch eine integrale Vergleichsoperation verglichen werden, daß am Fokussierbetrieb (6) des Fernrohrs ein Positionsgeber (17) vorgesehen ist, dessen Weg- oder Winkelmeßwerte beim Scharfstellen des Fernrohrs auf das Code-Muster ebenfalls dem Rechner (15) zugeführt werden und zur Erfassung der Distanz dienen, und daß entsprechend der so in den Rechner eingelesenen Distanz der Abbildungsmaßstab ( $m$ ) des Code-Musters errechnet und beim Vergleich mit dem gespeicherten Referenz-Code-Muster berücksichtigt wird.
2. Nivelliersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner (15) zur Durchführung eines Kreuzkorrelationsvergleichs zwischen den quantisierten Meßwerten der Detektorgruppe (10) und den einem Referenzcode entsprechenden Vergleichswerten aus dem Speicher (18) ausgebildet ist.
3. Nivelliersystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechner (15) zum Verschieben des Referenzcodes gegenüber den Meßwerten der Detektorgruppe (10) um Bruchteile ( $\Delta$ ) des Abstandes ( $h$ ) zwischen den Meßwerten ( $D_1$ ,  $D_2$ ) benachbarter Detektorelemente ( $Q_i$ ) der Detektorgruppe (10) ausgebildet ist.
4. Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine programmgesteuerte Optimierungsrechnung der Maximalwert der Kreuzkorrelation  $KL(m, \Delta)$  zwischen den in der Detektorgruppe (10) gemessenen Meßwerten und den Vergleichswerten aus dem Speicher bestimmt wird, indem der Abbildungsmaßstab ( $m$ ) des Referenzcodes und seine relative Lage ( $\Delta$ ) zu den Signalen ( $D_i$ ) der Detektorelemente ( $Q_i$ ) variiert wird.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Nivelliersystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 und ein Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems nach dem Oberbegriff des Anspruches 4.

Ein derartiges Nivelliersystem ist aus der US-PS 44 12 745 bekannt. Bei dem System wird ein absoluter Binärcode mit Adressen benutzt. Die Code-Elemente müssen länger sein als ein Detektor-Element (z. B. doppelt so lang). Durch einen Nonius ist eine weitere Interpolation möglich. Die Genauigkeit der Messung beträgt dann typischerweise einige Mikrometer. Die Auswertung ist jedoch relativ langsam.

Auf verschiedenen Gebieten der Technik besteht ein

Bedarf an einer berührungslosen Erfassung von Relativpositionen zweier relativ zueinander beweglicher Teile. Dies können Teile von Präzisionsmaschinen sein, deren Positionen mit hoher Genauigkeit erfaßt werden sollen, oder Geräteskalen, beispielsweise an optischen Instrumenten. So wird z. B. bei bisher gebräuchlichen Nivellierinstrumenten durch ein mit dem Instrument verbundenes Fernrohr auf einer entfernt aufgestellten Nivellierlatte eine darauf angebrachte Höhenskala abgelesen. Das Ablesen der entfernten Höhenskala durch das Fernrohr erfordert eine relativ hohe Konzentration des Beobachters. Deswegen treten mit dieser Methode immer wieder Ablesefehler, insbesondere grobe Fehler durch ungeübte Beobachter auf.

Es wurde bereits versucht, die hohe Fehleranfälligkeit bekannter Nivelliereinrichtungen auf verschiedene Arten zu beheben. So wurde gemäß der japanischen Publikation JA-57 749-81 vorgeschlagen, die Nivellierlatte mit codierten Lichtquellen entsprechend der Höhenskala zu versehen. Das Ablesen dieser Latte soll mit Hilfe eines darauf angepaßten Empfängers erfolgen. Die Nivellierlatte ist jedoch sehr aufwendig und für den rauen Betrieb im freien Gelände oder auf Baustellen nur wenig geeignet. Außerdem weist diese Nivellierlatte einen erheblichen Energieverbrauch auf, der sich ebenfalls störend auswirkt. Gemäß einem anderen Vorschlag (Austral. Provisional Patent No. 25 42/77) ist die Nivellierlatte mit Kombinationen von schwarz-weißen Längsstreifen und Dreiecken versehen. Durch Abtasten dieser Markierungen quer zur Latte wird bei geeigneter Wahl des Codes aus der abgetasteten Impulslänge auf die gemessene Höhe geschlossen. Bei dieser Anordnung wirkt sich die geringe Meßgenauigkeit sowie die geringe Empfindlichkeit beim Ablesen über größere Distanzen nachteilig aus.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Nivelliersystem der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, das eine schnellere und genauere Auswertung ermöglicht; es ist ebenfalls Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betrieb des Nivelliersystems vorzusehen.

Diese Aufgabe wird durch ein Nivelliersystem gelöst, das durch die Merkmale des Anspruches 1 gekennzeichnet ist, bzw. durch ein Verfahren, das durch die Merkmale des Anspruches 4 gekennzeichnet ist.

Durch die erfindungsgemäße Maßnahme ist ein automatisches Ablesen der Position bei sehr hoher Meßgenauigkeit möglich. Das Meßergebnis läßt sich digital anzeigen und kann bei Bedarf direkt auf einem Datenträger gespeichert und/oder in einem Rechner weiterverarbeitet werden. Insbesondere ist das Ablesen einer Skala auch dann möglich, wenn die Skala nicht mehr in die optische Achse eines Beobachtungsfernrohrs ragt. Zusätzlich kann durch die Ablesung eine Distanzinformation erhalten werden. Bei Anwendung auf Nivelliergeräte erfolgt durch das Einbeziehen der gesamten sich im Bildfeld befindlichen Information der Meßlatte in den Meß- und Auswertprozeß die Bestimmung von Nivellierhöhe und Entfernung auch bei einem starken Anteil von Rausch- und Störsignalen mit höherer Genauigkeit als mit bekannten Verfahren.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels, insbesondere bei Verwendung an einer Nivelliereinrichtung, mit Hilfe der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Nivelliergerät mit entfernt nachgeordneter Meßlatte sowie einen Ausschnitt aus einem längs der Latte angebrachten Strich-Code,

Fig. 2 einen Schnitt durch das verwendete Nivellier-

gerät,

Fig. 3 das Blockschaltbild einer an das Nivelliergerät angeschlossenen Auswert- und Anzeigeeinrichtung, und Fig. 4 Signaltbilder A, B und C zur Erläuterung der Arbeitsweise.

Das als Beispiel zur Erläuterung der Erfindung beschriebene Nivelliersystem gemäß Fig. 1 umfaßt ein Nivelliergerät 1 sowie eine in einer Entfernung  $Z$  aufgestellte Nivellierlatte 2. Auf der Nivellierlatte ist gemäß dem bevorzugten Ausführungsbeispiel in Längsrichtung ein Strich-Code 3 aufgebracht, dessen Striche quer zur Längsrichtung verlaufen.

Zum Ablesen der Nivellierlatte dient das Nivelliergerät 1, welches gemäß Fig. 2 ein Objektiv 4, eine Fokussierlinse 5 mit zugehörigem Fokussierbetrieb 6, einen Strahlteiler 7, eine Strichplatte 8 sowie ein Okular 9 enthält. Im Bereich der durch den Strahlteiler 7 aus dem Haupt-Strahlengang abgelenkten Strahlen befindet sich zusätzlich eine Detektorgruppe 10. Die Detektorgruppe dient zur Abtastung von Bildelementen quer zur optischen Achse. Die Anordnung ist derart gewählt, daß die von dem Objektiv 4 erfaßten Code-Elemente der Nivellierlatte 2 in die Ebene der Detektorgruppe 10 abgebildet werden. Der Detektorgruppe ist eine Signalverarbeitungseinrichtung 11 nachgeschaltet, die in Fig. 3 im einzelnen dargestellt ist.

In der Signalverarbeitungseinrichtung 11 werden die Signale der zu Detektorgruppe 10 gehörenden Detektorelemente  $Q_i$  über einen Verstärker 12, einen Abtastspeicher (Sample & Hold) 13 und einen Analog/Digital-Wandler 14 einem Rechner 15 zugeführt. Auf der Ausgangsseite des Rechners ist eine Anzeigevorrichtung 16 zur Darstellung des Meßergebnisses angeschlossen.

Am Fokussierbetrieb 6 des Nivelliergerätes ist ein Positionsgeber 17 angeschlossen, beispielsweise ein Weggeber oder ein mit dem Drehknopf gekoppelter Winkelgeber. Mit dieser Einrichtung wird die jeweilige Position des Fokussierbetriebs bei Scharfstellung auf die Nivellierlatte erfaßt. Das Ausgangssignal des Positionsgebers 17 wird dem Rechner 15 als weiteres Eingangssignal zugeführt.

An den Rechner 15 ist ein Festwertspeicher 18 angeschlossen in welchem ein Referenzcode abgespeichert ist, der z. B. dem Strich-Code auf der Nivellierlatte entspricht.

Der Rechner ermittelt auf die im folgenden näher beschriebene Weise durch Vergleich des von der Detektorgruppe 10 aufgenommenen Code-Bildes mit dem im Rechner abgespeicherten Referenzcode die Lage des Code-Bildes auf der Meßlatte und damit die Nivellierhöhe.

Der eigentliche Nivelliervorgang besteht darin, daß mit dem Fernrohr des Nivelliergerätes 1 die Nivellierlatte 2 angezielt und mit dem Fokussierbetrieb 6 scharfgestellt wird. Aus der vom Positionsgeber 17 gelieferten Fernrohr-Fokussierstellung des Nivelliergerätes 1 ermittelt der Rechner zunächst den Abstand  $Z$  zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2. Dazu sind im Festwertspeicher 18 entsprechende Eichwerte für die Distanz  $Z$  in Abhängigkeit von den Werten für die Fokussierstellung abgespeichert.

Aus der gegebenen Brennweite  $f$  des Fernrohrobjektivs, die vorzugsweise ebenfalls im Festwertspeicher 18 abgespeichert ist, und dem zuvor ermittelten Abstand  $Z$  zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 wird vom Rechner 15 der Abbildungsmaßstab  $m$  errechnet, gemäß der Beziehung

$$m = -f/Z$$

Mit diesem Abbildungsmaßstab  $m$  wird die Nivellierlatte 2 auf die Detektorgruppe 10 abgebildet.

Anhand der Fig. 4A–4C wird im folgenden die Funktionsweise der Signalverarbeitungseinrichtung 11 für das gewählte Beispiel erläutert. Fig. 4A zeigt das Signal für den aus dem Festwertspeicher 18 ausgelesenen Referenzcode  $R(r; m, \Delta)$ , wobei dieses Signal zum besseren Verständnis in der Ebene der Detektorgruppe 10 und in Abhängigkeit von der Position  $r$  der einzelnen Detektoren in dieser Ebene dargestellt ist.  $r$  bedeutet somit eine Variable, während der Abbildungsmaßstab  $m$  als Parameter aufzufassen ist.  $\Delta$ , ebenfalls ein Parameter, stellt die relative Position des Codeanfangs zum Anfang eines einzelnen Detektorelementes  $D$  gemäß Fig. 4B dar.

Die Wahl der Code-Darstellung bzw. der Detektoranordnung ist dabei derart getroffen, daß der Abstand  $\Delta$  immer kleiner ist als der Detektorabstand  $h'$  zwischen zwei benachbarten Detektorelementen gemäß Fig. 4B.

Fig. 4B zeigt nun in Abhängigkeit von der örtlichen Position  $r$  die Empfindlichkeitskurven  $D(r)$  der einzelnen Detektorelemente  $D_i(r)$  für  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Durch ein entsprechend gewähltes Steuerprogramm wird der Rechner 15 veranlaßt, fortlaufend den jeweiligen Wert des Referenzcodes  $R(r; m, \Delta)$  mit dem zugehörigen Wert der Detektorempfindlichkeitskurve  $D(r)$  gemäß den Fig. 4A und 4B zu multiplizieren und über die Position  $r$  zu integrieren. Als Ergebnis erhält man die in Fig. 4C aufgetragenen Diskretisierungswerte  $P_1(m, \Delta)$ :

$$P_1(m, \Delta) = \int_0^1 R(r; m, \Delta) \cdot D_1(r) \cdot dr.$$

Anschließend wird durch eine geeignete Rechnermanipulation die Empfindlichkeitskurve  $D_1(r)$  um den Detektorabstand  $h'$  verschoben, wieder mit  $R(r; m, \Delta)$  multipliziert und integriert. Aus dieser Operation ergibt sich ein zweiter Diskretisierungswert  $P_2(m, \Delta)$ . Dieser Rechenvorgang wiederholt sich solange, bis der ganze Referenzcode abgedeckt ist. Das Ergebnis ist schematisch in Fig. 4C dargestellt.

Schließlich ermittelt der Rechner 15 programmgesteuert die Kreuzkorrelation  $K_1(m, \Delta)$  zwischen den in der Detektorgruppe 10 von den einzelnen Detektorelementen  $Q_i$  gemessenen Intensitätswerten und den berechneten diskretisierten Referenzwerten  $P_i(m, \Delta)$  gemäß folgender Formel, worin  $N$  die Anzahl der verwendeten Detektorelemente bedeutet:

$$K_L(m, \Delta) = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i \cdot P_{i+1}(m, \Delta)}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^N Q_i^2 \right) \cdot \left( \sum_{i=1}^N P_{i+1}^2 \right)}}$$

Aus den so berechneten Werten der Kreuzkorrelationsfunktion sucht der Rechner 15 anschließend programmgesteuert die Verschiebung 1 mit dem größten Wert der zuvor ermittelten Kreuzkorrelation. Daraufhin werden die Parameter  $m$  und  $\Delta$  variiert und durch bekannte Methoden der numerischen Mathematik der maximale Wert der Kreuzkorrelationsfunktion  $K_1(m, \Delta)$  als Funktion von 1,  $m$  und  $\Delta$  programmgesteuert bestimmt.

Aus den so berechneten Werten für  $l$ ,  $m$  und  $\Delta$  wird diejenige Wertegruppe mit der höchsten Korrelation ausgewählt und aus den entsprechenden Parametern die Ableseposition, im vorliegenden Beispiel also die Nivellierhöhe, berechnet.

Für die zu Beginn vorgenommene Bestimmung der Distanz  $Z$  zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 ergibt sich eine Genauigkeitsabschätzung  $\Delta Z/Z$  nach folgender Überlegung:

$$\Delta Z/Z = OPD \cdot 8 \cdot Z/D^2,$$

wobei  $D$  die Apertur des Fernrohrobjektivs im Nivelliergerät 1 ist und  $OPD$  die optische Phasendifferenz. Wird für  $OPD$  ein Wert  $OPD \leq 1/2$  und  $D = 40$  mm angenommen, so wird die relative Distanzgenauigkeit  $\Delta Z/Z$  besser als  $\pm 14\%$  für  $Z = 100$  m und besser als  $\pm 0,7\%$  für  $Z = 5$  m.

Damit sich ein Strichcode 3 für die beschriebene Anwendung und Verarbeitung eignet, muß er die folgenden Bedingungen erfüllen.

Da der Abbildungsmaßstab der Nivellierlatte 2 auf die Ebene der Detektorgruppe mit dem Abstand  $Z$  zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 variiert, unterliegt der Abbildungsmaßstab  $m$  starken Veränderungen. Beispielsweise erfolgt bei Veränderung der Distanz  $Z$  von 1,5 m auf 100 m eine Änderung des Abbildungsmaßstabes um den Faktor 66,6.

Da die einzelnen Elemente  $Q$  der Detektorgruppe 10 einen endlichen Abstand voneinander haben, muß die Projektion eines Codeelementes auf ein Detektorelement größer sein als der gegenseitige Abstand  $h'$  der Detektorelemente untereinander, damit die Detektorelemente den Code noch auflösen können. Nach der aus der Nachrichtentechnik übernommenen Theorie von Nyquist sollte daher die Projektion eines Codeelementes  $G'$  mindestens ca. zweimal so groß sein wie der Abstand  $h'$  der Detektorelemente voneinander.

Diese Bedingung legt die Größe des zu wählenden Rasters  $G$  des Codes für die Nivellierlatte 2 fest:  $G \geq 2 \cdot h' \cdot m$ , wobei nun  $m$  der Abbildungsmaßstab für die größte Meßdistanz  $Z$  der Nivellierlatte in die Ebene der Detektorgruppe 10 ist.

Für kurze Distanzen  $Z$  zwischen dem Nivelliergerät 1 und der Nivellierlatte 2 wäre bei beschränkter Anzahl der Detektorelemente das Gesichtsfeld so klein, daß sich nur wenige Rasterelemente  $G$  im Gesichtsfeld der Detektorgruppe 10 befinden würden. Diese Anzahl Rasterelemente kann so klein sein, daß sie nicht zum eindeutigen Code-Aufbau und damit zur eindeutigen Ableseung des Codeträgers reicht. Um dieser Schwierigkeit auszuweichen, wird in solchen Fällen eine Optik mit veränderbarer Brennweite, wie ein Zoom oder Vergrößerungswechsler im Ablesegerät 1 verwendet. Auch eine Vorrichtung zur Abtastung des Gesichtsfeldes (Scanner) ist für diesen Zweck geeignet.

Eine andere Lösung des genannten Problems besteht darin, die Rasterelemente des Codes, entweder die hellen oder die dunklen Teile oder beide, durch ein feineres Raster zu unterteilen und damit einen weiteren Feincode zu bilden. Für große Distanzen  $Z$  wird dieser Feincode von der Detektorgruppe nicht aufgelöst, sondern wirkt wie in Grauwert. Für kurze Distanzen  $Z$  hilft er, die Position bei beschränktem Gesichtsfeld auf der Detektorgruppe eindeutig zu bestimmen. Als Grobcode hat sich ein Code-Raster als zweckmäßig erwiesen, welches für die größte praktisch vorkommende Meßdistanz  $Z$  ca. 1,5 mal der Bildgröße des Strichabstandes auf dem

Codeträger ist.

Ergänzend sei darauf hingewiesen, daß der Codeträger eine beliebige, von einer Abtastvorrichtung erfaßbare Form aufweisen kann, beispielsweise auch eine Kreisform. In diesem Fall lassen sich Winkelpositionen eines mit dem Codeträger verbundenen Bauteils mit hoher Genauigkeit automatisch ablesen. Dabei vereinfacht sich die notwendige Rechenoperation insofern, als der Abbildungsmaßstab  $m$  als systembezogene feste Größe betrachtet werden kann, sofern der Abstand zwischen Codeträger und Lesegerät fest eingestellt ist, was für die meisten derartigen Anwendungsfälle zweckmäßig sein dürfte.

Anstelle der im bevorzugten Ausführungsbeispiel beschriebenen Kreuzkorrelation können die im Rechner vorgenommenen Vergleichsoperationen aus einer beliebigen integralen Vergleichsoperation bestehen. Dabei wird mindestens ein Großteil, vorzugsweise die Mehrzahl derjenigen Detektorelemente, auf denen das Codemuster abgebildet ist, zum Vergleich mit dem Referenzcode herangezogen.

Hierzu 3 Blatt Zeichnungen

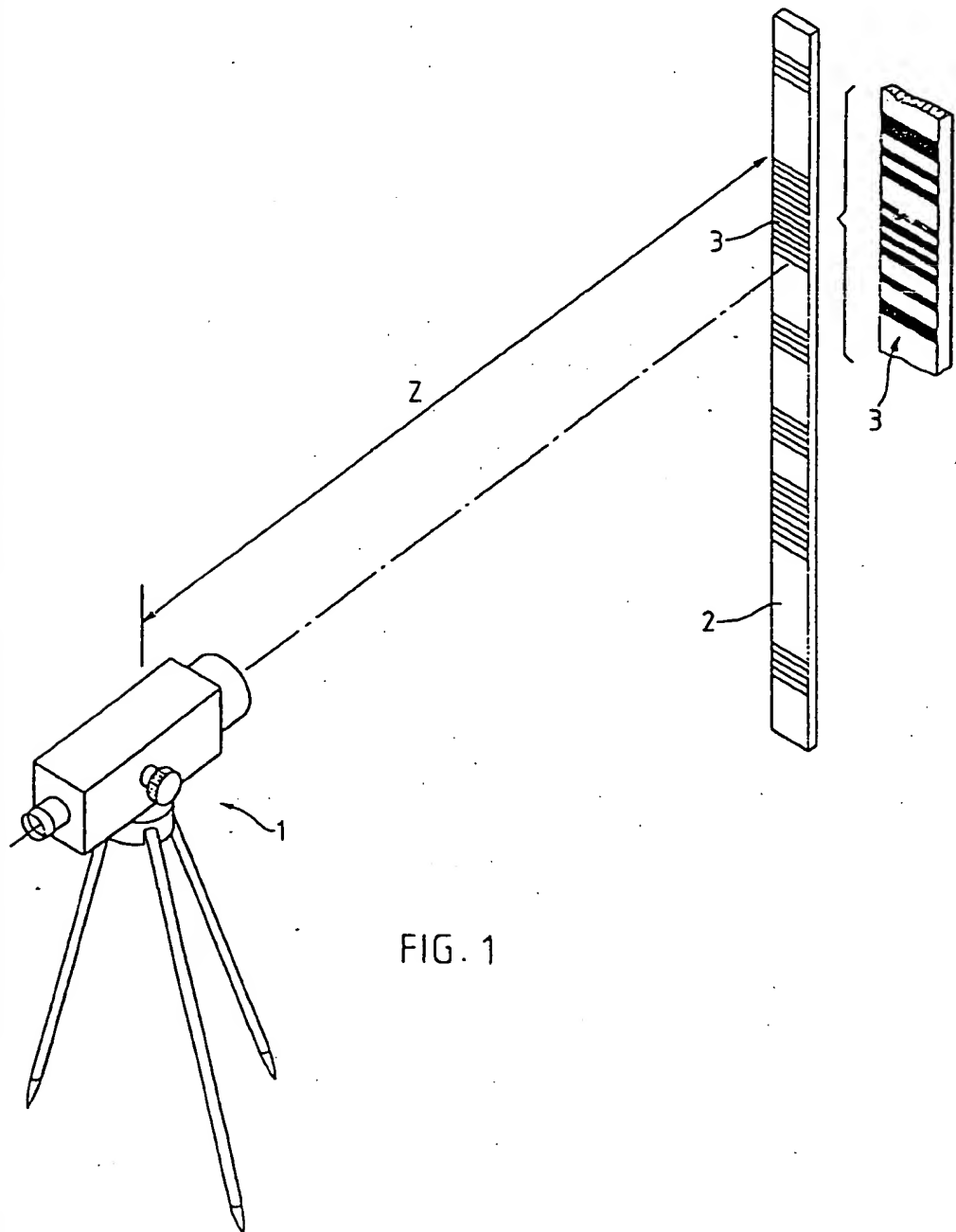


FIG. 1

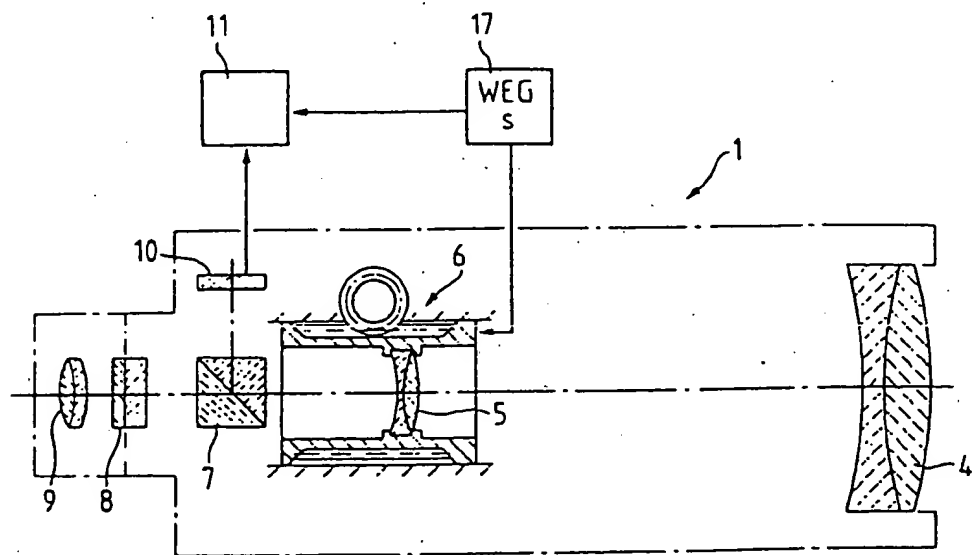


FIG. 2

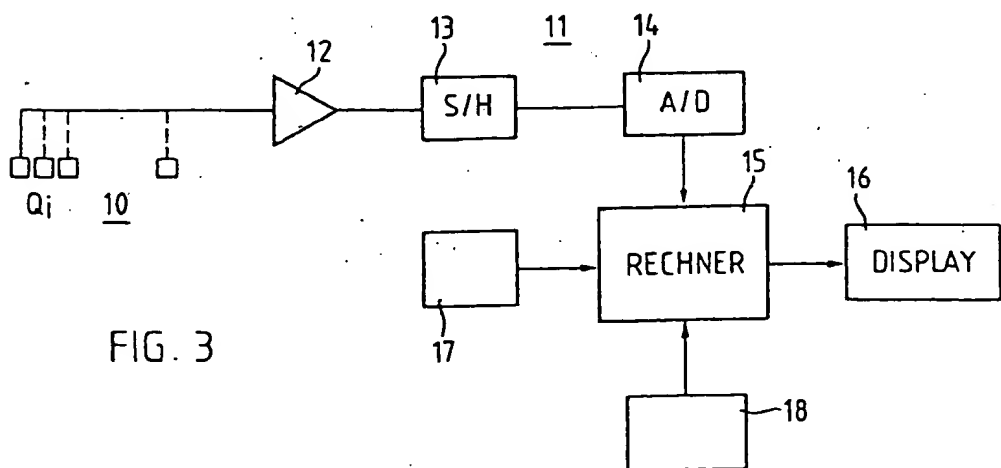


FIG. 3

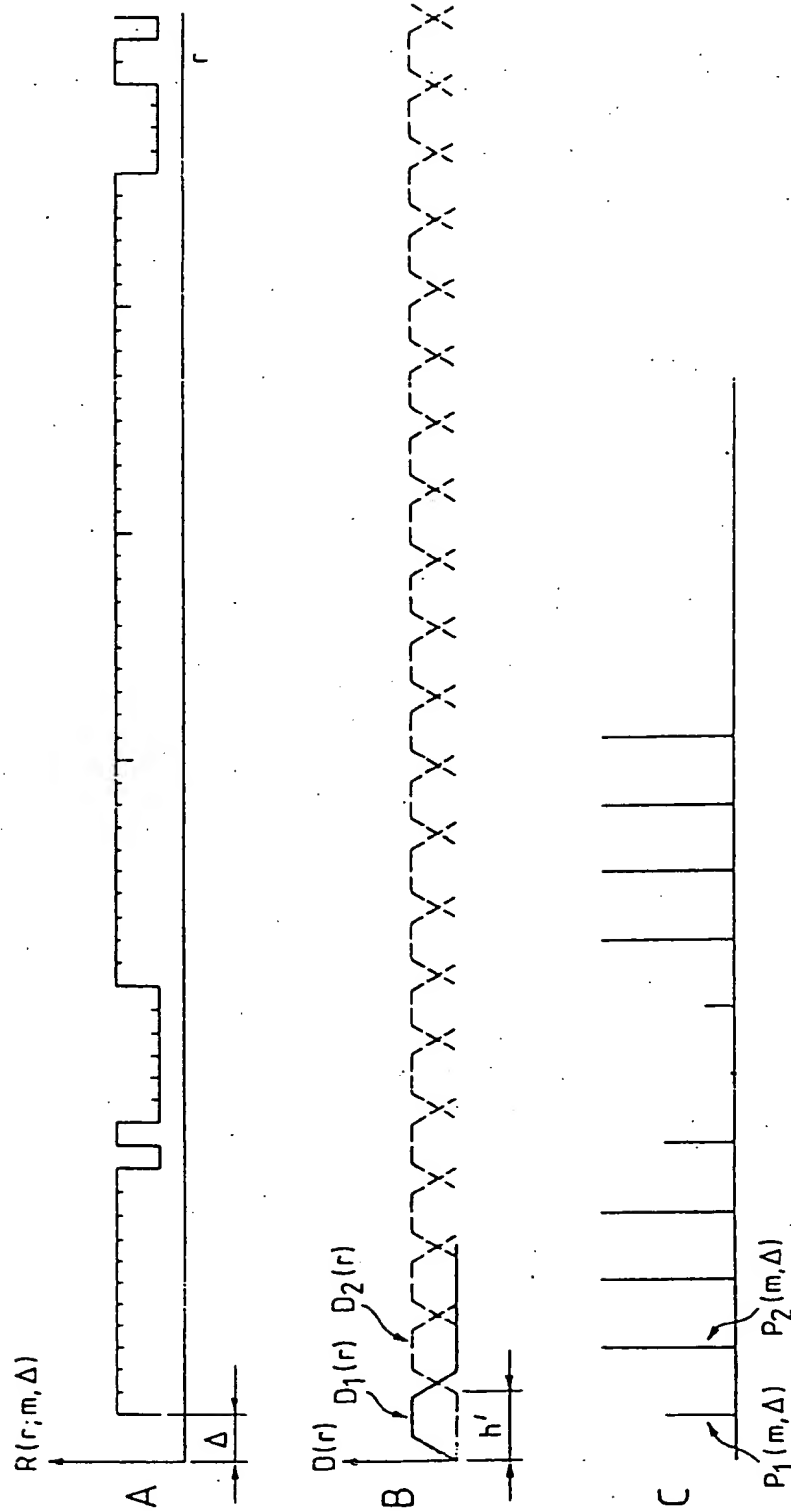


FIG. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**